

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация функционального проектирования электромеханических систем и устройств преобразовательной техники // В.М. Дмитриев, Т.Н. Зайченко, А.Г. Гарганеев, Ю.А. Шурыгин. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – 292 с.
2. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.
3. Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Ганджа Т.В. Архитектура универсального вычислительного ядра для реализации виртуальных лабораторий // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 2. – С. 24–28.
4. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Автоматизация моделирования многосвязных механических систем. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
5. Дмитриев В.М., Арайс Л.А., Шутенков А.В. Автоматизация моделирования промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
6. Зайченко Т.Н. Автоматизация моделирования линейных непрерывных САУ в системе MAPC // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 9. – С. 1–7.
7. Дьяконов В.П. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
8. Зайченко Т.Н. Автоматизация схмотехнического моделирования электрических машин в системе MAPC // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 11. – С. 1–9.
9. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.
10. Чучалин А.И. Математическое моделирование в электромеханике. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 170 с.
11. Ананин В.Г., Зайченко Т.Н. Автоматизация функционального моделирования строительных и дорожных машин (СДМ) // Вестник ТГАСУ. – 2000. – № 1. – С. 275–290.
12. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

УДК 62-83

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЛОГИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СРАВНЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ

А.В. Бубнов

Омский государственный технический университет
E-mail: info@omgtu.ru

Проведен анализ алгоритмов построения импульсного частотно-фазового дискриминатора для электропривода с фазовой синхронизацией, и разработано многофункциональное логическое устройство сравнения, позволяющее повысить качество регулирования электропривода.

При разработке электропривода для обзорно-поисковых систем перспективными являются системы управления, работающие в режиме фазовой автоподстройки частоты вращения (ФАПЧВ) [1] (рис. 1, где ЧЗБ – частотоподающий блок, формирующий импульсы опорной частоты f_{on} ; ИДЧ – импульсный датчик частоты вращения, формирующий импульсы частоты обратной связи f_{oc} ; ИЧФД – импульсный частотно-фазовый дискриминатор; КУ – корректирующее устройство; БДПТ – бесконтактный двигатель постоянного тока). Такие системы характеризуются высокими точностными показателями, хорошими динамическими свойствами и широким диапазоном регулирования.

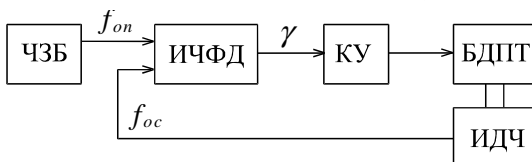


Рис. 1. Функциональная схема электропривода с фазовой синхронизацией

Целью данной статьи является разработка многофункционального логического устройства срав-

нения (ЛУС) для электропривода с фазовой синхронизацией, построенного на основе принципа ФАПЧВ, в контуре регулирования которого для повышения качества управления используется информация о текущем режиме работы привода.

Введение дополнительных корректирующих сигналов в канал регулирования электропривода с фазовой синхронизацией в режимах насыщения ИЧФД [2] позволяет уменьшить время регулирования в переходных режимах работы. При этом сигнал, пропорциональный ошибке по угловой скорости $\Delta\omega$ в режимах насыщения импульсного частотно-фазового дискриминатора, формируется путем дифференцирования выходного сигнала (пропорционального ошибке по углу $\Delta\alpha$) дополнительного фазового дискриминатора (ФД) [3], поскольку его характеристика не имеет участков насыщения.

Выходной сигнал фазового дискриминатора при изменении фазовой ошибки $\Delta\phi$ частот f_{on} и f_{oc} , в пределах, превышающих угловое расстояние между метками ИДЧ $\phi_0 = 2\pi/z$, где z – количество меток ИДЧ, имеет разрывы, обусловленные нелинейностью характеристики ФД. При дифференцирова-

нии такого сигнала наблюдаются выбросы напряжения, поступающие в основной канал регулирования в виде помехи.

Указанный недостаток отсутствует в разработанной схеме фазового дискриминатора с расширенной до $\pm 1,5\varphi_0$ линейной зоной характеристики [4]. Разрывы в выходном нормированном сигнале фазовой ошибки $\Delta\bar{\varphi} = \Delta\varphi/(2\pi)$ в рабочей зоне $\pm 1,5\varphi_0$ устраняются путем получения сигнала $\Delta\bar{\varphi}'$ в результате суммирования сигнала $\Delta\bar{\varphi}$ с сигналами индикации насыщения ИЧФД P и T при $f_{on} > f_{oc}$ и $f_{on} < f_{oc}$ соответственно (рис. 2, где ДУ – дифференцирующее устройство, УК – управляемый ключ, БУ – блок управления).

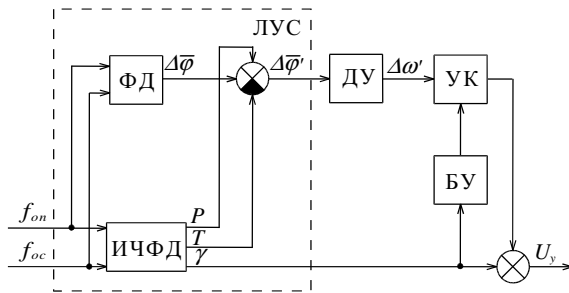


Рис. 2. Функциональная схема ЛУС с расширенной линейной зоной характеристики

Для обеспечения нормальной работы рассмотренного способа регулирования электропривода с фазовой синхронизацией необходима разработка многофункционального ЛУС, обеспечивающего формирование сигналов индикации режимов насыщения ИЧФД P и T , а также формирование сигнала фазовой ошибки $\Delta\bar{\varphi}$ электропривода в режимах насыщения.

Алгоритм работы ИЧФД удобно отображать с помощью графа переходов, в узлах которого указаны выходные состояния импульсного частотно-фазового дискриминатора, а ветви и петли графа обозначены состояниями входов ИЧФД. Наиболее простой алгоритм работы ИЧФД [5] отображен на рис. 3, а, в виде графа переходов с четырьмя выходными состояниями (A, B, C, D) импульсного частотно-фазового дискриминатора (индекс l показывает, что γ формируется в виде логического сигнала).

Каждый входной импульс частоты f_{on} переводит ИЧФД в соседнее состояние в направлении от A к D , а каждый импульс частоты f_{oc} – в обратном направлении. Режиму фазового сравнения соответствует поочередная смена состояний B и C , при этом выходной сигнал γ_l представляет собой последовательность импульсов частоты f_{on} с длительностью, пропорциональной разности фаз $\Delta\varphi$ сравниваемых частот f_{on} и f_{oc} . Режимам насыщения соответствует поочередная смена состояний A и B (при $f_{on} < f_{oc}$, $\gamma_l = 0$) или C и D (при $f_{on} > f_{oc}$, $\gamma_l = 1$).

Переход из одного режима в другой возможен только при приходе двух (или более) импульсов одной частоты между двумя соседними импульсами другой частоты в соответствии с графом переходов.

На рис. 4 работа ИЧФД поясняется с помощью временных диаграмм.

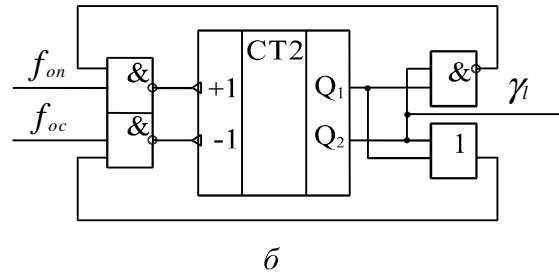
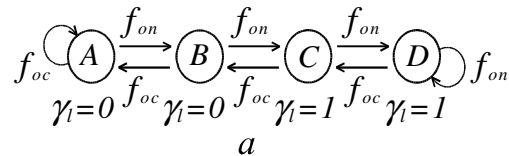


Рис. 3. Граф переходов и функциональная схема ИЧФД с обычным алгоритмом работы

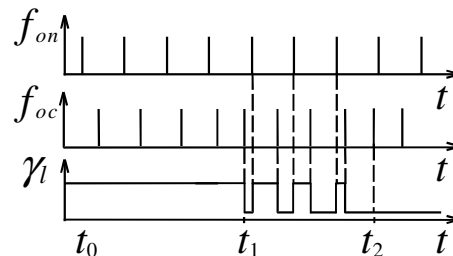


Рис. 4. Временные диаграммы работы ИЧФД

Интервал времени $t_0 < t_1$ соответствует режиму разгона электропривода ($f_{on} > f_{oc}$, $\gamma_l = 1$). В момент времени t_1 , соответствующий приходу двух подряд импульсов частоты f_{oc} между двумя соседними импульсами частоты f_{on} , ИЧФД переходит в пропорциональный режим работы (режим фазового сравнения), и на выходе γ_l появляется последовательность импульсов с периодом T_{on} и длительностью τ , пропорциональной фазовому рассогласованию $\Delta\varphi$ частот f_{on} и f_{oc} .

В момент времени t_2 повторяется ситуация, когда два импульса частоты f_{oc} проходят между двумя соседними импульсами частоты f_{on} . В результате ИЧФД переходит в режим насыщения, соответствующий режиму торможения электропривода ($f_{on} < f_{oc}$, $\gamma_l = 0$).

Рассмотренный алгоритм реализуется в ИЧФД на основе двухразрядного реверсивного счетчика импульсов СТ2 (рис. 3, б), имеющего насыщение при значениях выходного двоичного кода или в зависимости от направления подсчета импульсов [5, 6].

Основным недостатком рассмотренного алгоритма работы ИЧФД является то, что состояния B и C на графе переходов (рис. 3, а) соответствуют одновременно режиму фазового сравнения и режимам насыщения ИЧФД, что при использовании такого импульсного частотно-фазового дискриминатора в электроприводе затрудняет определение в произвольный момент времени режима работы электропривода и, в результате, ограничивает возможности по реализации регулятора в электропри-

воде с фазовой синхронизацией. В связи с этим вышерассмотренный импульсный частотно-фазовый дискриминатор не может использоваться в электроприводах с эффективными, но сложными алгоритмами управления, требующими информации о текущем режиме работы ИЧФД.

Для устранения этого недостатка в импульсном частотно-фазовом дискриминаторе [7] использованы два блокирующих триггера Т1, Т2 (рис. 5, в, где ЛУ – логическое устройство, ЛБ – схема логической блокировки), выходные сигналы которых определяют режим работы ИЧФД. При этом на графе переходов (рис. 5, а) происходит разделение состояний В и С (рис. 3, а), соответствующих режиму фазового сравнения и режимам насыщения одновременно.

На рис. 5, б, граф переходов представлен в другой более наглядной форме, и изменено обозначение состояний в соответствии с режимами работы электропривода. В результате на графе переходов четко выделяются три режима работы ИЧФД: насыщения при разгоне электропривода P , пропорциональный Π (режим фазового сравнения) и насыщения при торможении T .

Блокирующие триггеры предназначены для формирования информации о текущем режиме работы ИЧФД. Изменение выходных состояний триггеров осуществляется при приходе двух импульсов одной из сравниваемых частот f_{on} или f_{oc} между двумя соседними импульсами другой. Такие ситуации определяются с помощью логического

устройства ЛУ (рис. 5, в), управляющего работой триггеров Т1, Т2.

Сигнал $\Delta\bar{\varphi}_l$, пропорциональный фазовой ошибке $\Delta\varphi$, формируется с помощью фазового дискриминатора ФД и преобразуется в выходной сигнал ИЧФД γ_l с помощью схемы логической блокировки ЛБ, работающей в соответствии с логической функцией $\gamma_l = P + \bar{T}\Delta\bar{\varphi}_l$.

Благодаря наличию двух блокирующих триггеров, формирующих информацию о режиме работы импульсного частотно-фазового дискриминатора, такой ИЧФД может применяться в электроприводах с фазовой синхронизацией, в которых реализуются алгоритмы управления, использующие информацию о текущем режиме работы электропривода.

К недостаткам такой реализации ИЧФД следует отнести ненадежную работу импульсного частотно-фазового дискриминатора, обусловленную зависимостью работы ЛУ от параметров входных импульсов частот f_{on} и f_{oc} и проявляющуюся в возможности возникновения сбоев в работе ИЧФД при незначительных отклонениях параметров импульсов частот f_{on} и f_{oc} от значений, при которых ЛУ нормально функционирует.

Для эффективного применения в системах регулирования, использующих информацию о режиме работы ЛУС, разработана схема ИЧФД (рис. 6, в) с синхронизацией работы блокирующих триггеров Т1, Т2 по импульсам опорной частоты f_{on} [8], что позволяет устранить зависимость работы ЛУ от значений параметров импульсов частот f_{on} и f_{oc} .

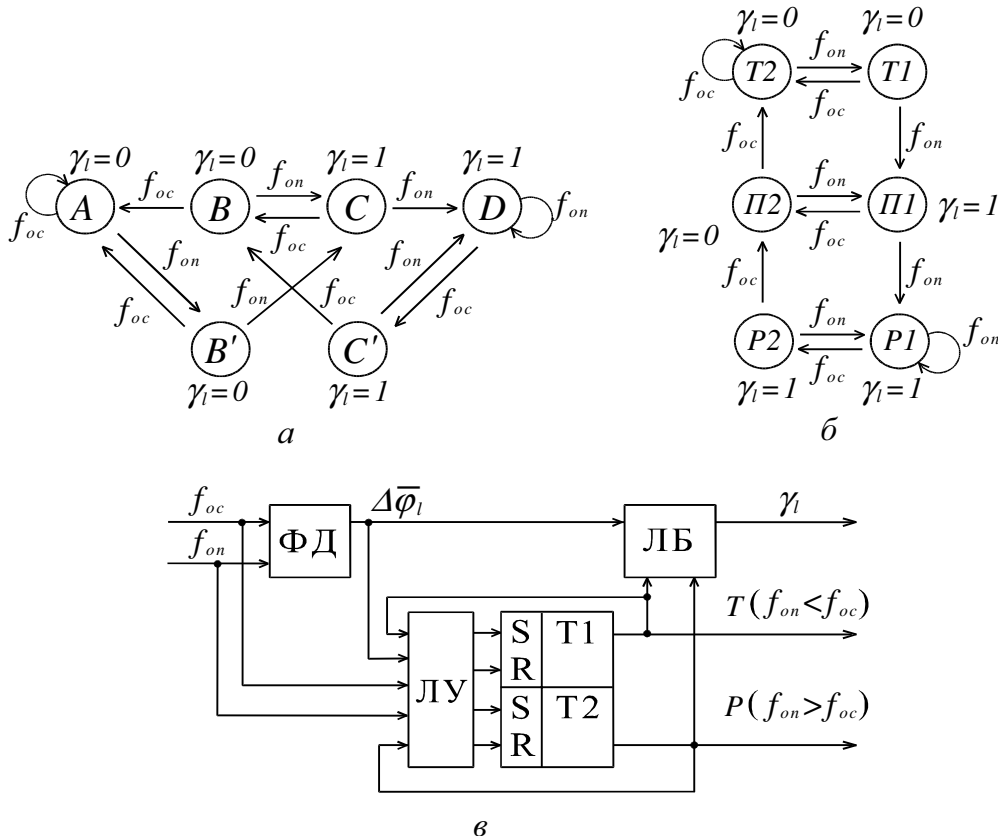


Рис. 5. Графы переходов и функциональная схема ИЧФД с блокирующими триггерами

Изменение алгоритма работы ИЧФД отражается на графе переходов (рис. 6, а) в разделении состояний П2 и Т2 (рис. 5, б). В более наглядном виде граф переходов представлен на рис. 6, б, где видно, что изменение режима работы ИЧФД осуществляется синхронизировано с импульсами частоты f_{on} .

В предлагаемой схеме (рис. 6, в) ФД выполняется в виде суммирующего счетчика импульсов частоты f_{oc} с коэффициентом пересчета равным трем с насыщением при достижении выходным кодом счетчика значения 10 и сбросом в 00 по импульсам частоты f_{on} . В результате такой реализации счетчик подсчитывает количество поступивших импульсов частоты f_{oc} между двумя соседними импульсами частоты f_{on} . Логическое устройство ЛУ в зависимости от состояния счетчика импульсов и значений выходных сигналов блокирующих триггеров Т1, Т2 формирует сигналы, поступающие на информационные входы блокирующих триггеров. Эти сиг-

налы отражают требуемое изменение текущего режима работы ИЧФД и в момент прихода импульса частоты f_{on} запоминаются в блокирующих триггерах.

Если к моменту прихода импульса частоты f_{on} на счетчик поступил только один импульс частоты f_{oc} , то в триггерах сохраняется предыдущая информация. При отсутствии импульсов частоты f_{oc} между двумя соседними импульсами частоты f_{on} в триггерах происходит изменение информации следующим образом:

- из режима насыщения при торможении ($f_{on} < f_{oc}$) происходит переход в режим фазового сравнения;
- из режима фазового сравнения — переход в режим насыщения при разгоне ($f_{on} > f_{oc}$);
- режим насыщения при разгоне ($f_{on} > f_{oc}$) сохраняется.

При приходе двух или более импульсов частоты f_{oc} между двумя соседними импульсами частоты f_{on} изменение режимов происходит в обратном порядке.

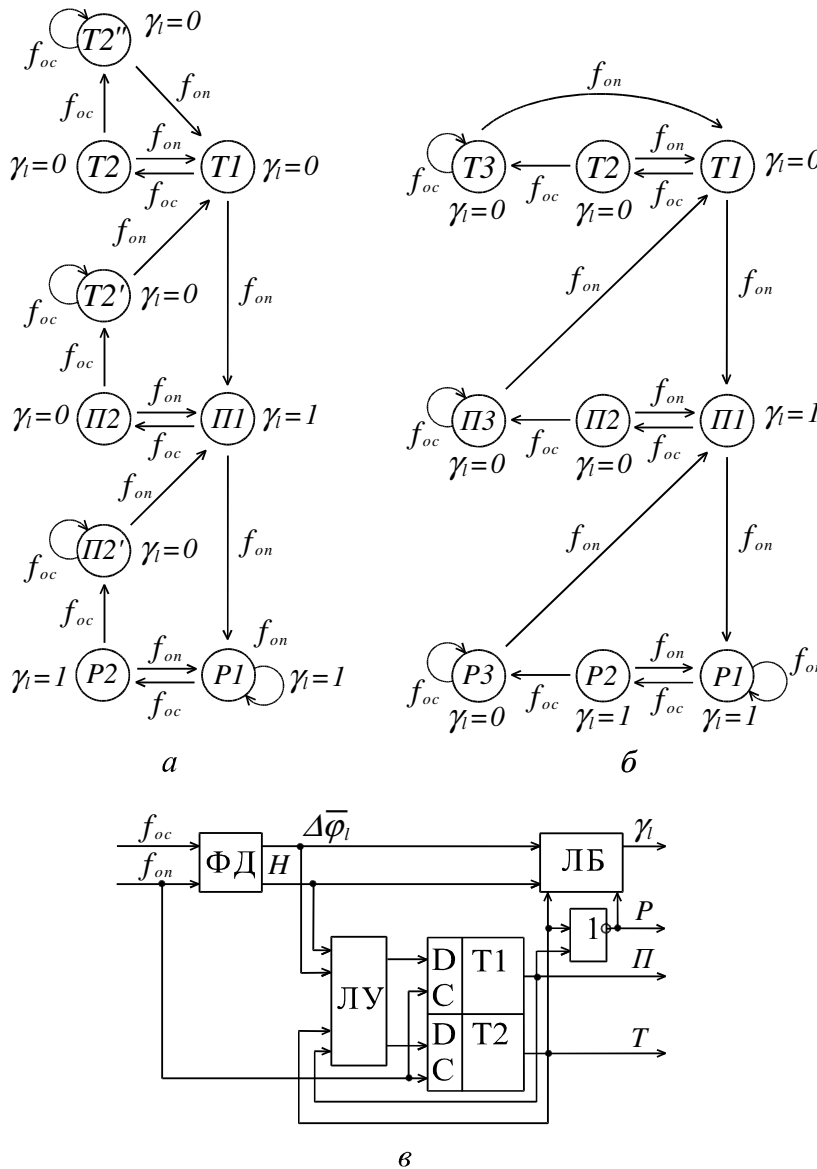


Рис. 6. Графы переходов и функциональная схема ИЧФД с синхронизацией работы блокирующих триггеров

Высокий уровень напряжения H на выходе второго разряда счетчика импульсов в ФД соответствует состояниям $P3$, $I3$ или $T3$ графа переходов (рис. 6, б) и используется в схеме ЛБ для опережающей разблокировки ИЧФД в случае прихода подряд двух или более импульсов частоты f_{oc} между двумя соседними импульсами частоты f_{on} в соответствии с логической функцией $\gamma = (P + T \Delta \bar{\varphi}) \bar{H}$.

Разработанный алгоритм работы ЛУС обеспечивает формирование сигналов индикации режимов насыщения ИЧФД P и T , а также формирование на выходе ФД сигнала фазовой ошибки $\Delta \bar{\varphi}$ электропривода в режимах насыщения, что позволяет использовать разработанное многофункциональное ЛУС в предлагаемом способе регулирования электропривода, использующем дополнительные корректирующие сигналы в режимах насыщения ИЧФД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трахтенберг Р.М. Импульсные астатические системы электропривода с дискретным управлением. — М.: Энергоиздат, 1982. — 168 с.
2. Бубнов А.В. Вопросы анализа и синтеза прецизионных систем синхронно-синфазного электропривода постоянного тока: Научное издание. — Омск: Омский научный вестник, 2004. — 132 с.
3. А.с. 1302411 СССР. МКИ⁴ H02P 5/06. Стабилизированный электропривод / А.М. Сутормин, В.Н. Зажирко, В.Г. Кавко. Заявлено 10.07.85; Опубл. 07.04.87, Бюл. № 13. — 4 с.: ил.
4. А.с. 1508334 СССР. МКИ⁴ H02P 5/06. Стабилизированный электропривод / А.В. Бубнов, В.Г. Кавко, А.М. Сутормин. Заявлено 02.11.87; Опубл. 15.09.89, Бюл. № 34. — 4 с.: ил.
5. Стребков В.И. Импульсный частотно-фазовый дискриминатор на интегральных микросхемах // Электронная техника в автоматике / Под ред. Ю.И. Конева. — М.: Советское радио, 1977. — Вып. 9. — С. 223–230.
6. А.с. 569000 СССР. МКИ² H03D 13/00. Импульсный частотно-фазовый дискриминатор / В.И. Стребков. Заявлено 04.10.74; Опубл. 15.08.77, Бюл. № 30. — 3 с.: ил.
7. А.с. 484621 СССР. МКИ² H03D 13/00. Частотно-фазовый компаратор / А.В. Буравцев, Е.Е. Макаренко. Заявлено 04.03.74; Опубл. 15.09.75, Бюл. № 34. — 2 с.: ил.
8. А.с. 1589373 СССР. МКИ³ H03D 13/00. Частотно-фазовый дискриминатор / А.В. Бубнов, В.Г. Кавко, А.М. Сутормин. Заявлено 23.05.88; Опубл. 30.08.90, Бюл. № 32. — 5 с.: ил.

УДК 621.372.5

УСЛОВИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ФАЗОВОГО СДВИГА ОТ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ В УСТРОЙСТВАХ С ПЕРЕМЕННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ

О.В. Стукач

Томский политехнический университет
E-mail: tomsk@ieee.org

На основе теории линейных систем найдено условие минимального изменения фазочастотной характеристики от амплитудно-частотной характеристики в устройствах с переменными установившимися состояниями. Исследована базовая структура устройства и показано, что выполнение условия инвариантности приводит к теоретически предельно возможным фазочастотным характеристикам. В качестве примера раскрыты подробности конструкции управляемого аттенюатора и обсуждены его характеристики. Главное отличие схемы от известных заключается в широкополосности и большом диапазоне вносимых ослаблений, где достигается минимум фазового сдвига при регулировании. В результате оптимизации найдены параметры корректирующих цепей и управляемых диодов.

1. Постановка задачи

Устройства с переменными состояниями с малой зависимостью фазового сдвига при регулировании амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) используют в сверхвысокочастотных системах, где требуется повышенная фазовая стабильность. Например, в системах автоматического фазирования сигналов в передатчиках, фазоинвариантных электрически управляемых аттенюаторах, системах суммирования мощностей в усилителях, измерительных системах и т.д. [1, 2].

Известно, что точная инвариантность фазового сдвига в управляемой системе обеспечивается только в том случае, когда АЧХ в разных состояниях затуха-

ния имеет постоянные значения в рабочем диапазоне частот [3]. Это недостижимо в реальных устройствах, так как полоса рабочих частот всегда ограничена.

В устройствах с переменными состояниями могут быть использованы два способа уменьшения фазового сдвига: автоматическая компенсация фазы или реализация семейства АЧХ с почти одинаковым наклоном по частоте во всем диапазоне. Первый способ существенно усложняет схему, поэтому в инженерной практике наибольшее распространение получил способ компенсации фазового сдвига корректирующими цепями.

Новизна данной работы заключается в определении условий наименьшего фазового сдвига при ре-